DOI: http://dx.doi.org/10.5902/2179460X11214
Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM
Ciência e Natura, Santa Maria,
ISSN: 2179-460X v. 35 n. 1 jul. 2013, p. 033-042

Estimativa das áreas impermeáveis de bairros de Porto Alegre-RS como etapa ao planejamento urbano

Estimative of the waterproof areas from Porto Alegre – RS neighborhoods as an urban planning stage

Frederico Carlos Martins de Menezes Filho

Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Professor da Universidade Federal de Mato Grosso

Resumo

A utilização de imagens de alta resolução espacial para fins de planejamento urbano, na determinação de parâmetros relacionados ao uso do solo como a fração de áreas impermeáveis correlacionando a densidade habitacional, é atualmente uma ferramenta presente e indispensável aos tomadores de decisão. Uma pequena revisão de literatura aborda a estreita relação entre a densidade populacional e a impermeabilidade do solo dada a ocupação urbana. Essa estreita relação invoca ao planejamento urbano elementos reguladores da expansão urbana, já que a intensa impermeabilização do solo afeta diretamente o ciclo hidrológico pela redução da infiltração das águas pluviais e consequente aumento do escoamento superficial, proporcionando, nos períodos chuvosos, alagamentos frequentes e inundações. Deste modo, a quantificação de áreas impermeáveis permite aos gestores públicos definir ações relacionadas à infraestrutura como transporte, saneamento ambiental, saúde e educação. Utilizando imagem de alta resolução espacial (1m) do satélite QuickBird II, obtiveram-se para 12 bairros da cidade de Porto Alegre-RS a porcentagem de áreas impermeáveis e sua relação com a densidade habitacional por meio de dados do censo demográfico. Para verificação da classificação rígida utilizada, o estudo apoiou-se na obtenção do acerto global e do coeficiente de kappa, obtendo-se valores respectivamente de 70% e 0,57, considerados como satisfatórios para o tipo de classificação utilizada. Pelas informações obtidas, percebe-se que apesar do decrescimento populacional ocorrente nas regiões centrais e o avanço sobre a periferia da cidade, não houve impedimento para a densificação no núcleo central com aumento de áreas impermeáveis.

Palavras-chave: : geoprocessamento, densidade habitacional, classificação rígida

Abstract

The use of high spatial resolution satellite image for urban planning to determination of parameters related to land use as the fraction of waterproof areas correlating the housing density is currently a present and indispensable tool for decision makers. A short review of literature discusses the close relationship between population density and impermeability of the soil due to urban occupation. This close relationship refers to urban planning, regulatory elements of urban sprawl, as the intense waterproof surfaces directly affects the hydrological cycle by reducing the infiltration of rainwater and consequent increase in runoff, providing frequent flooding in the rainy season and floods. Thus, the quantification of waterproof areas, allows managers to actions related to public infrastructure such as transport, sanitation, health and education. Using high spatial resolution image (1m) of QuickBird II was obtained for 12 neighborhoods of the city of Porto Alegre-RS, the percentage of waterproof areas and its relationship with housing density by census data. To verify the used hard classification, the study was supported in obtaining the overall arrangement and the kappa factor, obtaining values of respectively 70 and 0.57% considered as satisfactory for the classification type used. From the information obtained it is clear that despite the population decline occurring in the central regions and advance on the outskirts of the city, there was no impediment to the densification of the central nucleus with increased waterproof areas

Keywords: Keywords: geoprocessing, housing density, hard classification.

Recebido em: 18.05.12, Revisado em 21.02.13, Aceito em 29.03.13

1. INTRODUÇÃO

A utilização de imagens de alta resolução para determinação de áreas impermeáveis em áreas urbanas torna-se uma prática comum nos setores de planejamento urbano. Vantagens quanto à precisão dos resultados e tempo envolvido para a classificação de imagens na determinação de áreas impermeáveis baseadas em imagem de satélite são relatadas desde a década de 70, conforme trabalho de Ragan e Jackson (1975).

A necessidade da obtenção da fração de áreas impermeáveis se relaciona à densidade habitacional e, assim, constitui-se ponto de apoio ao ordenamento territorial e previsão de cenários futuros de crescimento urbano. Do mesmo modo, a parcela de áreas impermeáveis é utilizada como parâmetro de entrada de modelos hidrológicos utilizados para previsão de cheias urbanas.

Consoante Jensen (2009), a inferência populacional pode ser realizada a nível local, regional e nacional, tendo como base: a contagem individual de unidades domiciliares – sendo a mais precisa, contudo inviável para escalas regional e/ou nacional devido ao tempo e custo operacional para realização; a medição da extensão de áreas urbanizadas e por meio de estimativas derivadas da estreita relação da área urbana com a densidade populacional que é foco deste trabalho.

Dentre os trabalhos pioneiros a nível internacional sobre o assunto, destaca-se Stankowski (1972) pela proposição do equacionamento baseado em levantamentos de campo para 21 municipalidades de New Jersey (EUA). No mesmo trabalho, demonstraram-se os diversos tipos de curvas baseadas nas características do uso do solo tais como: residencial, comercial e industrial, apresentando, as modificações de áreas urbanas e suburbanas pelo adensamento populacional e sua importância para o planejamento e estudos hidrológicos.

Gluck e McCuen (1975), visando desenvolver equações pela rapidez na obtenção de áreas impermeáveis em contraposição ao tempo gasto na análise de fotografias aéreas, acrescentaram também outros parâmetros como: densidade ocupacional, densidade de moradias e a distância ao centro comercial a fim de refinar o estudo referente a Washington, E.U.A.
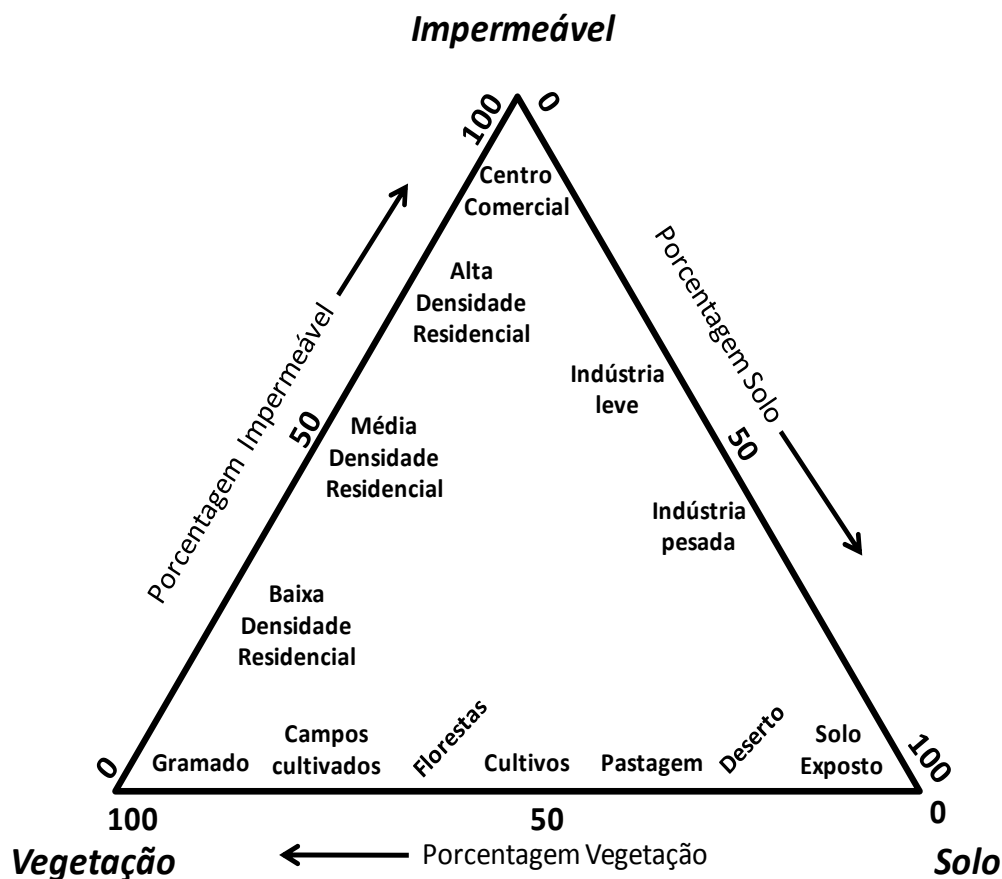
Figura 1. Modelo V-I-S (Vegetação-Impermeabilidade-Solo). Adaptado (RIDD,1995).

Huber e Dickinson (1992) citam Heaney et. al com uma coletânea das equações de regressão, obtidas de estudos de outros autores. Os mesmos autores definem a equação proposta por Stankovisky (1972) como a mais representativa pela dimensão do estudo realizado com 567 municipalidades e utilizada no modelo de gerenciamento de águas pluviais SWMM (*Stormwater Management Model*) da agência ambiental norte-americana (*EPA – U.S Environmental Protection Agency).*

Além de equações propostas, outras metodologias foram elaboradas para correlacionar área impermeável e densidade habitacional como o trabalho de Ridd (1995) que propôs um modelo denominado V-I-S (Vegetação - Impermeável - Solo) (Figura 1) por meio de projeto piloto com 770 pontos da cidade de Salt Lake nos E.U.A, representando a composição de cobertura urbana.zz

Relacionado aos impactos urbanos no ciclo hidrológico, o modelo V-I-S demonstra claramente as relações do aumento de áreas impermeáveis com consequente redução da vegetação e decréscimo da porcentagem de solo exposto. Um dos primeiros trabalhos a nível nacional foi o realizado por Motta e Tucci (1984), utilizando ortofotos para bacias de Porto Alegre, no intuito de determinar a relação área impermeável versus densidade habitacional. Posteriormente, Tucci et. al. (1989) desenvolveram o mesmo estudo para onze bacias urbanas na região Metropolitana de São Paulo. Tais estudos foram conduzidos a grandes bacias urbanas porém restritos à aplicação das equações para condições de relevos distintas daquelas estudadas, como regiões de alta declividade e morros. Tal estudo contemplou ainda a estimativa para as cidades de São Paulo e Curitiba obtendo uma tendência geral da relação população-impermeabilidade (Figura 2).

O surgimento de imagens comerciais de alta resolução, como a do satélite *QuickBird II* no início dos anos 2000, subsidiou para áreas urbanas a identificação de alvos com maior precisão sobre as imagens anteriormente disponíveis como a LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), Cbers (*China-Brazil Earth-Resources Satellite*), Aster (*Advanced Spaceborn Thermal Emission*) e Spot (*Système Pour l'Observation de la Terre*). O tipo de classificação rígida baseada na Máxima Verossimilhança também se tornou frequente, conduzindo a resultados às vezes satisfatórios, outras vezes a resultados irreais, devido à confusão espectral caracterizada pelo "pixel mistura" como observado em diversos trabalhos (BERNARDI et al., 2007; CENTENO et al., 2003; PINHO e KUX; 2004).

Campana e Tucci (1994) puderam utilizar imagens LANDSAT para determinação de áreas impermeáveis para a cidade de Porto Alegre e contemplaram uma área de 140 km² adotando uma abordagem fuzzy. A mesma imagem foi utilizada por Alves (2004) para determinação da mesma relação bem como da evolução de áreas impermeáveis na Bacia do Arroio Dilúvio na cidade de Porto Alegre.

As limitações da relação área impermeável *versus* densidade habitacional compreendem: (a) áreas predominantemente comerciais e industriais não mostram a mesma tendência; (b) a topografia pode alterar a ocupação devido à dificuldade de ocupação (grande declividade do terreno); (c) áreas pequenas podem estar distorcidas por misto de edifícios com áreas verdes.

Este trabalho buscou abordar a estimativa das áreas impermeáveis, baseada na classificação rígida de imagem de alta resolução espacial a fim de demonstrar sua estreita relação com a densidade habitacional e o planejamento urbano.
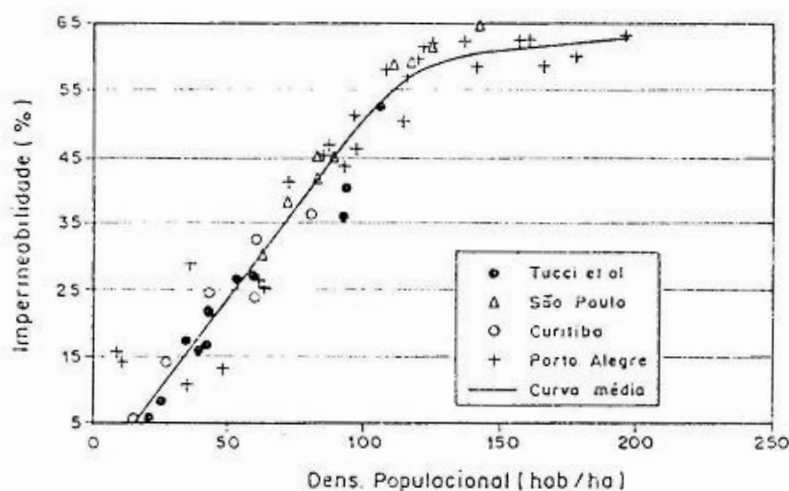
Figura 2. Tendência geral da relação ocupação-impermeabilidade (CAMPANA e TUCCI, 1994).

2. Materiais e métodos

2.1. Classificação de imagens digitais

A classificação de imagens multiespectrais consiste na identificação de diferentes alvos na superfí- cie terrestre através do comportamento espectral dos mesmos. Este processo pode partir do próprio usuário na identificação visual e no agrupamento de tais alvos em classes, sendo denominada de classificação supervisionada. O processo de classificação pode ser não-supervisionada ficando a cargo do software utilizado agrupar tais alvos a semelhantes comportamentos espectrais (*"clustering"*).

A classificação supervisionada pode ainda ser subdividida em rígida ou relativa. Quanto à primeira classificação, destaca-se o método da máxima veros- similhança, um dos mais utilizados. Este método se baseia na teoria de Bayes. Conhecendo as informações do conjunto de amostras de treinamento de cada classe, este comando associa através da média, da variância e covariância das assinaturas espectrais, a possibilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe (CLARK E LABS, 2006). Esse processo não contempla para o pixel a pertinência em diversas classes e atribui a este, como o nome diz, unicamente a classe de maior preponderância, independentemente se para o mesmo pixel houverem outras classes existentes em menor porcentagem.

Na classificação relativa, baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy, proposta por Zadeh (1965), interpreta-se como uma questão de grau a pertinência de um objeto a uma classe. Nesta classificação, são geradas imagens que representam a probabilidade dos pixels existentes na imagem pertencerem a cada classe, num intervalo de 0 a 1.

2.2 Área de estudo

A área de estudo compreendeu 12 bairros da cidade de Porto Alegre-RS. Estes bairros possuem características amostrais distintas com relação à topografia e ocupação descritas na tabela 1.

Os dados demográficos foram obtidos no SIDRA, um banco de dados agregados que disponibiliza conforme orientação do usuário na página principal do IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfica e Estatística, informações sobre contagem demográfica, por estados, cidades, municípios e bairros brasileiros consoante o censo demográfico do ano de 2000. Paralelamente, obtiveram-se informações sobre a área dos bairros na página da internet *Observa POA* (http://www2.portoalegre.rs.gov.br/observatorio/).

Tabela 1. Características dos bairros de estudo

Bairro	DH (hab/ha)	Ocupação
Bom Fim	298,71	Residencial
Cidade Baixa	210,56	Residencial
Centro	153,10	Residencial
Santana	142,42	Residencial
Menino Deus	137,57	Residencial
Floresta	89,47	Com.Ind.Serv.
Hípica	23,18	Residencial
Guarujá	20,55	Residencial
Serraria	16,79	Residencial
Chapéu do Sol	5,24	Residencial
Ponta Grossa	3,53	Residencial
Lajeado	1,26	Residencial

Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento, SMP

Buscou-se selecionar bairros representativos com características demográficas distintas para o estudo. Na Figura 3, encontram-se os bairros selecionados.

De posse destes dados, partiu-se para a utilização de geoprocessamento por meio do software *IDRISI Andes*. A imagem utilizada para realização do trabalho foi a do satélite *QuickBird II*, imagem fusionada (pancromática mais as bandas do visível) com resolução espacial de 1m, obtidas no período de março de 2002 a março de 2003.

Com os bairros escolhidos, gerou-se então para cada bairro uma máscara para classificação individual (Figuras 4 e 5). Prosseguindo o trabalho e como etapa para classificação, foi necessário , para cada bairro, gerar as bandas que formam a imagem fusionada, utilizando o comando *SEPARAT* e, assim, gerando para cada bairro três arquivos compostos pelas bandas 'vermelho', 'verde' e 'azul' (RGB).

Para aceitação da classificação, utilizou-se uma imagem de controle (100m x 100m) (Figura 6) referente a uma área pertencente a um dos bairros
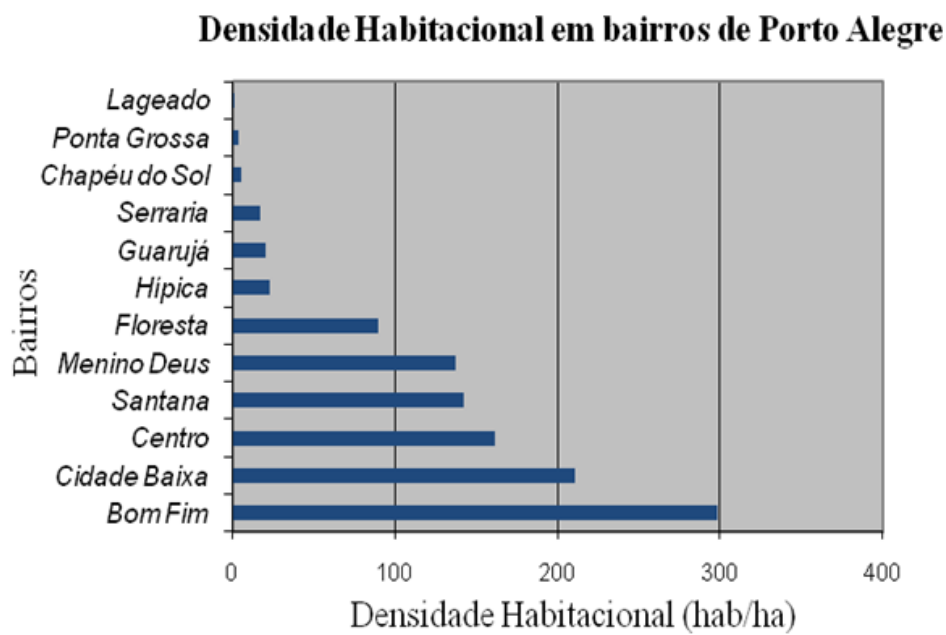
Figura 3. Densidade Habitacional dos bairros selecionados

Figura 4. Máscara gerada para o Bairro Lageado

Figura 5. Máscara gerada para o Bairro Centro

de estudo com características de áreas impermeáveis e permeáveis comuns aos outros bairros de estudo.

Utilizou-se como índice da qualidade da classificação o percentual global de acerto obtido por meio da matriz de erro ou confusão e o índice kappa. Este índice busca representar o grau de precisão temática entre a imagem classificada e a imagem referência tomada como verdade, variando de 0 a 1. Quanto mais próximo 1, têm-se resultados ditos como excelentes e próximos a 0 de baixa precisão

Tabela 2 – Alvos selecionados para classificação

Classes	Área permeável	Área Impermeável
Água		x
Asfalto		x
Cobertura cerâmica		x
Cobertura concreto		x
Cobertura metálica		x
Vegetação	x	
Solo exposto	x	

A imagem de controle foi classificada visualmente, definindo-se duas classes principais, uma

Figura 6. Imagem de controle para classificação visual

permeável, englobando sub-classes como vegetação e solo exposto e outra classe impermeável, composta pelas sub-classes: asfalto, cobertura cerâmica, cobertura concreto, cobertura metálica e água (Tabela 2) Realizou-se o cruzamento da imagem de controle classificada visualmente, admitindo-se esta como verdadeira, com a gerada pela classificação automática, obtendo-se então a matriz de confusão e o cálculo do índice Kappa. Conforme Alvez (2004), este cruzamento permite avaliar o grau de precisão do que se imagina na realidade e a imagem classificada automaticamente pelo *software*.

Além disso, com a matriz de confusão gerada, pode-se ainda optar pelo maior refinamento ou escolha de um maior número de amostras e até mesmo a exclusão de amostras que geraram maior confusão espectral. O processo encontra-se ilustrado na Figura 7.
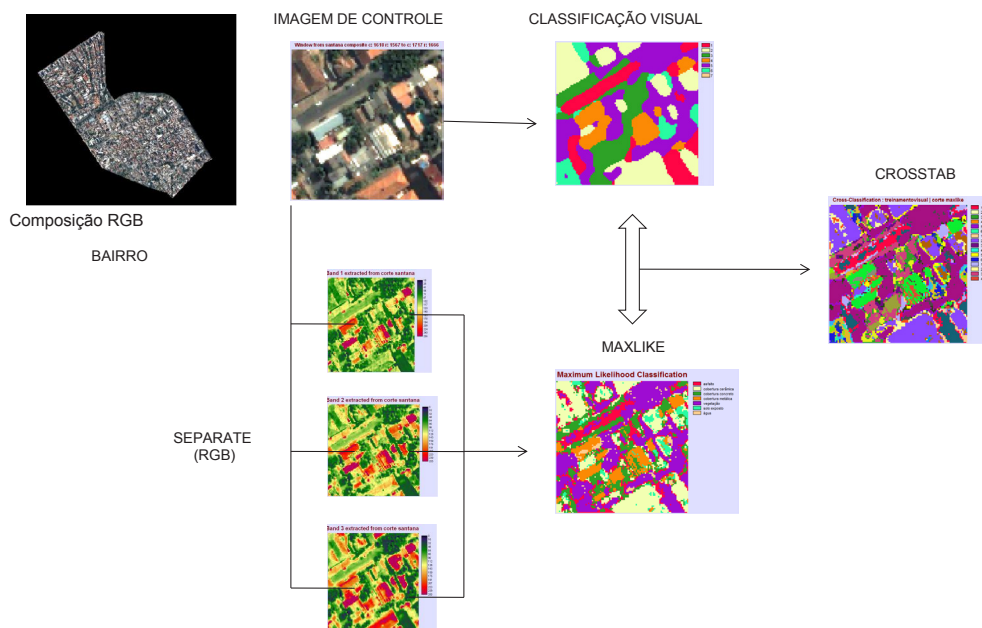
Figura 7. Esquema ilustrativo do processo para avaliação da classificação automática
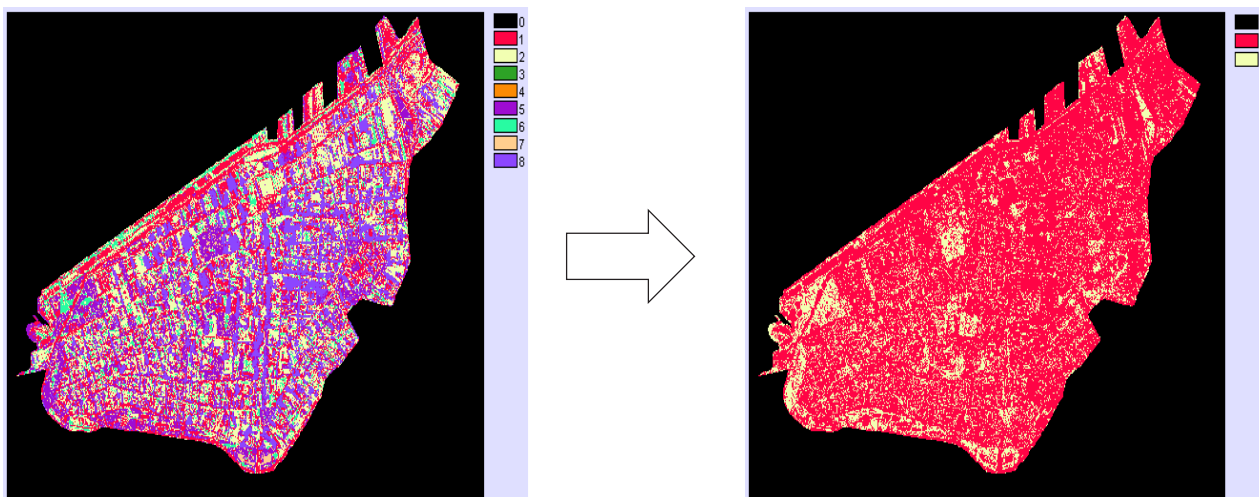
Figura 8. Classificação por Máxima Verossimilhança

Após essa etapa, realizou-se a classificação automática para os bairros em estudo por Máxima Verossimilhança, utilizando as classes já citadas, posteriormente reclassificadas como permeáveis e impermeáveis (Figura 8), com os valores 1 e 2 respectivamente.

3. Resultados e discussão

A classificação automática, utilizando Máxima Verossimilhança disposto no *software Idrisi Andes*, apresentou a mesma característica de trabalhos já desenvolvidos quanto à existência de confusão entre classes, como entre solo exposto e cobertura cerâmica e asfalto e vegetação.

Os maiores erros de inclusão e omissão ocorreram para as classes asfalto, concreto e solo exposto, ocasionados pela confusão espectral e pela dificuldade apesar da alta resolução espacial, da definição das classes de treinamento pela presença de "pixel mistura". Determinou-se, então, a priori, o erro total da classificação empregada na imagem de controle, obtendo-se o valor de 42%, uma exatidão de 58% e um índice kappa de 0,47, significando este resultado uma precisão média. Para contornar o problema intrínseco à classificação rígida de imagens de alta resolução espacial, aumentou-se a quantidade de amostras de treinamento, selecionando amostras representativas de solo exposto e asfalto, classes com maiores erros de omissão.

Além da classe água representar 2% dos pixels e não estar presente na maioria dos bairros, com erro de inclusão de 99%, tal classe foi desconsiderada. Do mesmo modo, constatou-se na imagem utilizada a grande presença de sombras de prédios sobre prédios e sobre o asfalto, claramente áreas impermeáveis nos bairros: Cidade Baixa, Menino Deus e Floresta. Ao não considerar a água como classe para os bairros onde não se detectou detectou-se a mesma bem como a retirada de sombra da imagem de controle e a maior amostragem para as classes de maior confusão espectral como solo exposto e asfalto, a exatidão da classificação foi de aproximadamente 70% um índice kappa obtido de 0,57, considerando-se satisfatória a qualidade da classificação.

Tabela 3. Valores de Área Impermeável nos bairros

Bairro	HD (hab/ha)	AI (%)
Bom Fim	298,71	71,58
Cidade Baixa	210,56	73,12
Centro	153,10	78,66
Santana	142,42	78,33
Menino Deus	137,57	69,70
Floresta	89,47	68,04
Hípica	23,18	20,82
Guarujá	20,55	40,88
Serraria	16,79	22,29
Chapéu do Sol	5,24	15,60
Ponta Grossa	3,53	13,25
Lagrado	1,26	18,15

Destaca-se que a retirada das classes água e sombra se aplicou somente nos bairros onde tais conjuntos não foram relevantes em relação às características da área do bairro em estudo. Reafirma-se que, por tratar de área urbana, tais classes deverão compor a classificação por constituírem elementos presentes dentro dos alvos urbanos.

Partiu-se, então, para a classificação automática dos bairros em estudo considerando as classes já citadas. Determinou-se, então, a área impermeável para cada bairro. Os valores para as áreas impermeáveis são apresentados na Tabela 3.

O bairro Floresta, por ter a ocupação referente a serviços, comercial e industrial, apresentou-se de maneira clara pela baixa densidade e alta fração de áreas impermeáveis proporcionalmente ao conjunto de bairros em estudo (89,47 hab/ha, 68,04%).

Analisando a Figura 9, fica evidente, consoante Tucci (2007) que a relação cresce até 120 hab/ha quando a partir desde momento o efeito da verticalização reduz a área impermeável proporcional próximo de 70% da área total.

Segundo Alves (2004), a bacia do dilúvio nas quais os bairros foram amostrados apresentou um crescimento de 1987 a 2000 de 10% na taxa de urbanização, evidenciando uma alteração das características populacionais e de áreas impermeáveis na área de estudo.

Entretanto, analisando a evolução da população para os bairros em estudo, houve um decrescimento populacional para bairros mais antigos e com ocupação consolidada como Bom Fim, Cidade Baixa, Centro e Santana. Tal análise demonstrou que de certa forma houve uma densificação das áreas existentes e possivelmente o aumento de áreas impermeáveis, justificando o incremento de 10% na taxa de urbanização.

O único crescimento verificado foi para bairros periféricos distantes do núcleo central dentre eles: Guarujá, Serraria e Hípica com ocupação residencial/rural como observa-se na Tabela 4.
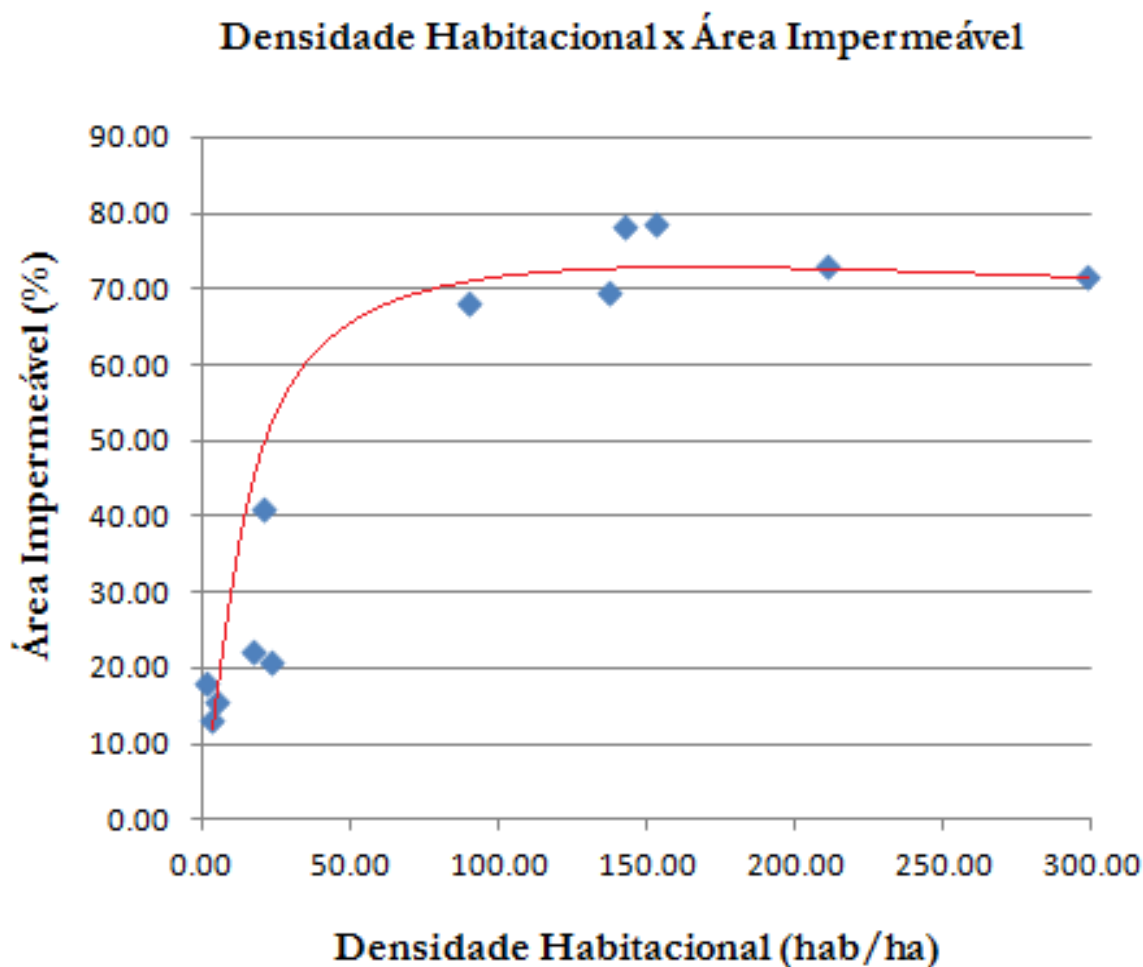
Figura 9. Relação densidade habitacional x área impermeável para bairros da cidade de Porto Alegre – RS.

Tabela 4. Variação populacional entre censos

Bairro	Pop. 1991	Pop. 2000	Crescimento (%)
Bom Fim	11711	11351	-3.2
Cidade Baixa	19441	16634	-16.9
Centro	43252	36862	-17.3
Santana	23589	21221	-11.2
Menino Deus	30309	29577	-2.5
Floresta	25408	14941	-70.1
Hípica	7868	10363	24.1
Guarujá	2123	2589	18.0
Serraria	4528	5775	21.6
Chapéu do Sol	nc	nc	nc
Ponta Grossa	1711	3290	48.0
Lajeado	3942	3425	-15.1

4. Conclusões

A estimativa de áreas impermeáveis para o planejamento urbano é item fundamental aos gestores públicos pela correlação com a densidade habitacional conforme as referências citadas neste artigo. Relação esta diretamente ligada à infraestrutura urbana como o saneamento, saúde e transporte já que retrata áreas de maior concentração populacional bem como tendências de avanço demográfico quando se comparam dados de censos realizados ao longo do tempo.

Quanto à classificação realizada neste trabalho, obteve-se inicialmente um erro da ordem de 40% na classificação da imagem de controle, o que conduziu pela análise da matriz de erro a um refinamento com maior número de amostras e a retirada de classes como água e sombras presentes na imagem. Deste modo, obteve-se um acerto global de 70% e um índice kappa de 0,57, considerando-se satisfatória a classificação.

O estudo apresentado vem corroborar a tendência verificada e comprovada por estudos anteriores, demonstrando a aplicabilidade como ferramenta de planejamento urbano a estimativa de áreas impermeáveis como dado de entrada para modelos hidrológicos, bem como do ordenamento territorial quanto ao avanço de áreas urbanas e consequentes impactos ambientais associados à ocupação.

Como conclusão deste estudo, houve um decrescimento populacional em regiões centrais, não havendo um impedimento para a densificação destas áreas pela população existente em direção às regiões periféricas, fato este, observado nacionalmente.

5. Referências

ALVES, C.A. **Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado: CEPSRM,UFRGS, 137p, 2004.

ALVES, C. D; PEREIRA, M. N; FLORENZANO, T. G; SOUZA, I. M. **Análise orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanas com imagens LANDSAT.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos. Curitiba. v.15, n°1, p.120-141. jan-mar. 2009.

BERNARDI,H.V.F; DZEDZEJ, M; CARVALHO, L. M.T; ACERBI-JÚNIOR, F.W. **Classificação digital do uso do solo comparando os métodos "pixel a pixel" e orientada ao objeto em imagem QuickBird.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais, Florianópolis, Santa Catarina, INPE, p.5595-5602, 2007.

CAMPANA, N.A; TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas.** RBE, Caderno de Recursos Hídricos. Vol.2, n.2, 1994.

CENTENO, J.A.S; ANTUNES, A.F.B; TREVISAN, S; CORREA. **Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução.** RBC – Revista Brasileira de Cartografia, n.55/1, julho 2003. Disponível em:http://www.rbc.ufrj.br;_2003/55_06.htm). Acesso em: 20 jul. 2007.

CLARK LABS. **IDRISI Andes – Guide to Gis and Image Processing.** Clark University: Worcester, MA. USA. 2006.

GLUCK, W. R; McCUEN, RH. **Estimating land use characteristics for hydrologic models.** Water Resources Research, v. 1. n. 1, 1975.

HUBER, W. C; DICKINSON, R. E. **Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual.** U.S. Environmental Protection Agency, Athens, USA.1992.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphano (coord.) et. al. São José dos Campos, SP. Ed. Parêntese, 2009.

MOTTA, J.C; TUCCI, C.E.M. S**imulation of the urbanization effect in flow**. Hydrological Sciences Journal, 29,2, junho, 1984.

PINHO, C.M.D; KUX, H. J. H. **Dados do QuickBird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP,Brazil.** In: XI Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Informacion Espacial. Anais, Santiago, Chile. nov. 2004. 10p.

RAGAN, R.M; JACKSON, T.M. **Use of Satellite Data in Urban Hydrologic Models**. Journal of the Hydraulic Division, Proceedings, ASCE. v. 101. n. 12. December, 1975.

RIDD, M.K. **Exploring a V-I-S (Vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities.** International Journal of Remote Sensing. 1995, v. 16. n. 12, p.2165-2185.

STANKOWSKI, S. J. **Population density as an indirect indicator of urban suburban land-surface modifications**. Geological Survey Profissional Paper, 800-B, p.B219-B224. 1972.

TUCCI, C.E.M, BRAGA Jr.,B.P.F; SILVEIRA, A. **Avaliação do impacto da urbanização nas cheias urbanas.** RBE, Caderno de Recursos Hídricos. Vol.7, n.1, 1989.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**. ABRH/ RHAMA. Coleção ABRH , v.11. 393p. Porto Alegre, RS. 2007.

ZADEH, L.A. **Fuzzy Sets Information and control.** (1965). In: ROLIN, F.A. Teoria Fuzzy e sua aplicação em sensoriamento remoto. UFPR. Curitiba. 2001.